

## Presentación

Pese a lo que pudiera parecer a primera vista, la realidad virtual no es una tecnología exótica. Las aplicaciones de la realidad virtual se hallan presentes ya en gran cantidad de campos, desde las simulaciones con las que se entrena en el manejo de diferentes tipos de máquinas, hasta sistemas de visualización que ayudan a comprender complejos sistemas conceptuales matemáticos. En medicina existen desde hace años aplicaciones mediante las que es posible aprender y practicar técnicas quirúrgicas, e incluso administrarlas a distancia. La industria del entretenimiento con mayor volumen económico, superando incluso a la cinematográfica, es la de los videojuegos, que son una forma de realidad virtual.

A medida que los avances informáticos han entrado a formar parte de los laboratorios psicológicos, los instrumentos basados en elementos mecánicos se han ido sustituyendo por ordenadores, y la evolución de éstos ha permitido reemplazar las anteriores rudimentarias formas de presentación de estímulos y de registro de respuestas por sofisticados entornos gráficos y, en algunos casos, por entornos de realidad virtual. Los ordenadores gráficos, inicialmente, y posteriormente los sistemas de realidad virtual, han mantenido el elevado grado de control de variables que ya estaba presente en los laboratorios originales, pero sin efectos adversos sobre la validez externa de la experiencia, como ocurría entonces debido a la artificiosidad que se hacía necesaria para conseguir alcanzar ese alto control de variables. Los sistemas de realidad virtual permiten presentar cualquier tipo de estimulación en condiciones controladas, pero situando al sujeto en una simulación de otro entorno, real o imaginario. De ese modo, no es necesario sacrificar la validez ecológica para conseguir una alta validez interna. Puede afirmarse, sin temor a exagerar, que el equilibrio que esta tecnología permite conseguir entre validez interna y validez externa, tanto en estudios psicopatológicos básicos como en aplicaciones para la evaluación y el tratamiento de diferentes trastornos, ofrece posibilidades revolucionarias.

Este tipo de simulaciones permite reproducir situaciones reales de forma controlada pero, además, hace posible ir más allá puesto que proporciona la capacidad de configurar entornos con propiedades que no se pueden encontrar en la realidad. De esa forma se alcanzan niveles de exposición que superan incluso los que se pueden conseguir con la exposición en vivo, y esa sobreexposición tiene consecuencias positivas sobre la percepción de autoeficacia y sobre la generalización de los aprendizajes. Las propiedades de los estímulos pueden ser manipuladas a voluntad, haciendo que sean incluso más significativos clínicamente que los estímulos reales, y por tanto más útiles para la terapia.

Entre las principales ventajas de esta tecnología respecto a otros procedimientos se encuentran las siguientes:

- Ofrece un mayor grado de privacidad que la exposición en vivo. En algunas situaciones el paciente puede negarse a someterse a una exposición en vivo por no querer comprometer la confidencialidad de su trastorno. La realidad virtual le ofrece un entorno totalmente privado para llevar a cabo la exposición.

- El coste también es menor, al no ser necesarias operaciones logísticas complicadas como las que deben desarrollarse para llevar a cabo la exposición en vivo.

- Permite llevar a cabo tratamientos sobre pacientes en los que no es posible, o muy difícil, aplicar exposición en vivo, y que tampoco disponen de capacidades que hagan posible realizar una exposición con imaginación.

- Proporciona mayor control de los parámetros de la situación, con lo cual es posible aislar o resaltar aquellas dimensiones ambientales clínicamente significativas para el paciente.

- Permite crear situaciones que van más allá de lo que se puede encontrar en la propia realidad.

- Facilita el autoentrenamiento y el sobreaprendizaje, puesto que el paciente no ha de esperar a que los sucesos tengan lugar en la vida real sino que puede producirlos y reproducirlos cuando lo desee.

- Permite al terapeuta ver en cada momento lo mismo que el paciente está viendo, lo que facilita localizar las dimensiones situacionales relevantes para cada caso y trastorno.

- Hace posible diseñar “a medida” las jerarquías de exposición, con lo que el paciente puede exponerse a todas las situaciones posibles.

- Es segura, por cuanto terapeuta y paciente controlan en todo momento lo que ocurre.

- Se trata de una actividad que en gran medida es dirigida por el propio paciente, y la actividad dirigida por uno mismo es un importante motor del aprendizaje y, por tanto, de la modificación de conducta.

- Favorece la sustitución de creencias irracionales por pensamiento lógico, al facilitar la exploración de diferentes posibilidades.

No es extraño que algunas de las aplicaciones iniciales de esta tecnología en el tratamiento de problemas psicológicos, durante los primeros años de la década de los noventa, estuvieran destinadas a personas con fobia a volar. El tratamiento de elección para las fobias específicas está basado en diferentes formas de exposición. La exposición en vivo parece ser más eficaz que la exposición con imaginación, al menos en personas que no tienen una capacidad de visualización suficiente, o que no pueden mantener la concentración en la situación imaginada durante el tiempo necesario para que las sesiones de exposición resulten eficaces. Sin embargo, no siempre puede llevarse a cabo una exposición en vivo o, si se puede, resulta tan costoso que se hace imposible en la práctica. La fobia a volar es uno de los trastornos en los que se presenta esta

situación. Sería muy costoso llevar a cabo exposición en vivo durante el número de sesiones de que constan habitualmente este tipo de programas de tratamiento. Pero, aunque no existiera esa limitación económica, no habría manera de controlar adecuadamente los parámetros de la exposición, de modo que se pudiera graduar ésta convenientemente para ajustarla a la jerarquía de situaciones provocadoras de ansiedad que se elabora con el paciente.

De hecho, en el momento en que aparecieron estas primeras aplicaciones clínicas, la realidad virtual se venía empleando ya desde hacía años para el entrenamiento de pilotos en los conocidos simuladores de vuelo, por lo que su utilización como método de tratamiento de personas con fobia a volar parecía razonable. Rápidamente aparecieron nuevos informes de investigación en los que se aplicaba esta tecnología para el tratamiento de otros trastornos de ansiedad por parte de diferentes grupos, principalmente en Estados Unidos, pero también en Europa y Asia. Se desarrollaron intervenciones para agorafobia, acrofobia, trastorno de pánico, estrés postraumático, claustrofobia, fobia social, etc. Los resultados de la mayor parte de esos estudios fueron positivos, encontrando niveles de eficacia iguales o superiores a los de las intervenciones conductuales tradicionales, por lo que no tardaron en aparecer ensayos sobre otros trastornos, como los de la conducta alimentaria, así como métodos de evaluación y entrenamiento para la rehabilitación cognitiva (atención, funciones ejecutivas, etc.). A los estudios de casos que se realizaban al principio se añadieron progresivamente estudios controlados de mayor calidad metodológica que confirmaban la eficacia de las intervenciones. En la actualidad se ha investigado ya la aplicación de este tipo de tecnología para la intervención sobre la mayoría de los problemas que han sido objeto de evaluación y tratamiento con los métodos psicológicos tradicionales, incluyendo trastornos clínicos que van desde la ansiedad hasta la esquizofrenia, y se han hecho también incursiones en temas relacionados con la psicología de la salud, como es la intervención sobre el dolor agudo y crónico o el tratamiento de adicciones. La comunidad internacional que trabaja sobre estos temas ha crecido también notablemente en estos años, y existen ya publicaciones periódicas específicas, congresos especializados anuales y varias sociedades científicas.

Si este ritmo de crecimiento se mantiene durante los próximos años, muy pronto podrán trasladarse de una forma generalizada los resultados de la investigación al ámbito aplicado. A ello contribuirá, sin duda, la reducción drástica que están teniendo los costes asociados a la utilización de este tipo de tecnología. Prácticamente cualquier sistema informático doméstico actual puede mover entornos virtuales para los que antes se necesitaban costosas estaciones gráficas. Otros componentes de los sistemas de realidad virtual, como son los sistemas de proyección o de rastreo, han abaratado también notablemente sus precios debido a su mayor difusión. Si bien pueden montarse instalaciones extraordinariamente sofisticadas de alto coste, la mayor parte de los requisitos necesarios para la realización de investigación y para la intervención psicológica mediante realidad virtual pueden cubrirse con equipos de coste muy moderado. Sin embargo, uno de los componentes que actualmente continúan teniendo una alta repercusión sobre el precio final del sistema es el *software* necesario

para el desarrollo de entornos. Aunque se puede recurrir a aplicaciones de libre distribución y de código abierto, su utilización hace necesario, de todas formas, contar con técnicos tales como programadores, modeladores y animadores, sobre todo si se pretende desarrollar entornos con un elevado grado de realismo.

Para que el tratamiento mediante realidad virtual sea un éxito es necesario que el paciente generalice el aprendizaje obtenido a las situaciones reales. Cabría suponer que cuanto más similar a la realidad fuese el entorno de aprendizaje, mayor sería la probabilidad de que lo adquirido en el ambiente virtual se transfiriera a la situación real. Sin embargo, esa presuposición debe matizarse. Es posible que un entorno virtual muy realista sea incluso perjudicial para el aprendizaje inicial y que, en cambio, reproducciones más esquemáticas consigan centrar más la atención del sujeto en los aspectos relevantes de la tarea, promoviendo un mejor aprendizaje. En el diseño de los programas de tratamiento debe reflexionarse cuidadosamente acerca del balance entre intensidad del aprendizaje y transferencia de éste. En el caso de los tratamientos que utilizan realidad virtual probablemente los entornos esquemáticos sean más apropiados que los realistas durante las fases iniciales de adquisición, facilitando la modificación del comportamiento al eliminar posibles estímulos distractores y concentrar la atención del paciente en los elementos clínicamente significativos del entorno. No obstante, cabe pensar que a medida que el entorno virtual así construido se distancie de la realidad, su efecto facilitador de la adquisición puede tener también un efecto secundario negativo sobre la generalización. Una estrategia adecuada podría ser avanzar en el grado de realismo de los entornos a medida que progresa la terapia. Una vez adquirido el aprendizaje relevante a través de entornos esquemáticos, en sesiones posteriores se incrementaría el grado de detalle y el realismo de las escenas con la finalidad de favorecer la transferencia del aprendizaje a las situaciones reales. La investigación realizada hasta el momento muestra que el grado de realismo de los entornos no influye sobre la sensación de presencia que el usuario experimenta más que otras variables como la inmersión o la interacción; sin embargo, hay que realizar más estudios para aclarar el papel que el realismo puede tener sobre aspectos específicos del aprendizaje que se desarrolla a lo largo de las diferentes fases de un tratamiento psicológico, como son la adquisición y la generalización.

Si el coste del desarrollo propio de los entornos resulta excesivo, pueden adquirirse entornos ya desarrollados y acompañados de manuales clínicos, listos para ser utilizados directamente en la evaluación o el tratamiento de diferentes problemas. Su precio es muy variable; algunos tienen un coste elevado y otros se distribuyen gratuitamente. En cualquier caso, incluso aquellos que suponen un gasto representan un ahorro considerable respecto a la opción de desarrollarlos desde cero. Pero en ocasiones es necesario disponer de entornos que puedan ser configurados con cierta flexibilidad para adaptarlos a propósitos concretos de aplicación sobre determinados casos. Para facilitar esta tarea existen intentos de desarrollo de aplicaciones para la construcción de entornos virtuales que puedan ser utilizadas por personal no experto, proporcionando unos elementos básicos “prefabricados”, y dando la posibilidad de modificar-

los o incorporar otros adaptados a la finalidad particular para la que van a ser destinados.

Aunque un sistema de realidad virtual ideal debería proporcionar información multisensorial al usuario, lo cierto es que el peso principal de las simulaciones que se desarrollan habitualmente corresponde a la modalidad visual y, en segundo término, a la auditiva. Aunque existen dispositivos de salida para el tacto y el olfato (con guantes especiales se consigue transmitir sensaciones táctiles, y con mezcladores químicos se transmiten olores), el nivel actual de la tecnología hace que sea mucho más difícil simular estímulos correspondientes a otras modalidades más allá de la visión y la audición. Con frecuencia se comete el error de no prestar tanta atención a la simulación de estímulos auditivos como a la de los estímulos visuales. Existen recursos técnicos suficientes para alcanzar niveles de inmersión extraordinariamente elevados mediante la adecuada simulación de las propiedades acústicas de los entornos, y los estímulos auditivos son extraordinariamente eficaces para controlar la atención y las reacciones emocionales. Al contrario, si no se cuida especialmente este aspecto, como ocurre por ejemplo cuando la localización de una fuente de sonido no es coherente con la del estímulo visual asociado a la misma, la eficacia del conjunto de la simulación puede verse seriamente reducida. Si para representar visualmente los entornos virtuales se tienen en cuenta propiedades físicas relacionadas con la propagación y la reflexión de la luz, de manera similar deben tenerse en cuenta esas mismas propiedades en relación con el sonido para representar acústicamente los entornos virtuales. El modelado adecuado de estas propiedades proporciona una información fundamental para que el usuario pueda comprender adecuadamente las características espaciales del entorno, resolviendo ambigüedades propias de la simulación tridimensional visual.

La variedad de dispositivos disponibles para la presentación de la información visual en los sistemas de realidad virtual es considerable, desde los tradicionales HMD (*Head Mounted Display*) hasta los CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), pasando por simples pantallas planas de ordenador o de proyección y sistemas DOME (pantallas hemisféricas). Además de este tipo de equipos, que ya son de uso común en muchas instalaciones, se está investigando el desarrollo de otros tales como proyecciones directas sobre la retina y lentes de contacto electrónicas. Estas lentes contienen circuitos electrónicos formados por capas de metal de unos pocos nanómetros y diodos emisores de luz mediante los que es posible presentar estímulos visuales. La mayor parte de los equipos se suelen construir con un objetivo particular, lo que hace que los productos de un grupo de investigación sean exportables con cierta dificultad a otros. La falta de criterios de homogeneización en este sentido conlleva también algunos problemas para la replicación de las experiencias. De todas formas, se está avanzando en esta línea y existen ya algunos elementos comunes a la mayor parte de los sistemas.

Uno de los parámetros visuales que más incidencia tiene sobre nuestra experiencia cotidiana es el campo de visión. Para conseguir simular adecuadamente el campo de visión real, un sistema de realidad virtual debe propor-

cionar al menos 180° horizontales y 120° verticales. Para ello pueden emplearse múltiples pantallas planas, como en los CAVE, que rodean total o parcialmente al usuario, pero estos sistemas tienen el inconveniente de que las esquinas son difíciles de ocultar, y al tomar conciencia de la existencia de una superficie de proyección, se disminuye la sensación de presencia en el entorno virtual. Algunos HMD proporcionan ángulos de visión muy altos, pero la incomodidad que conlleva su utilización también incide negativamente sobre la sensación de presencia. Estos dispositivos pueden ser adecuados para experimentar simulaciones de duración reducida, pero no lo son para las exposiciones prolongadas que se requieren durante un tratamiento psicológico. Los DOME intentan superar estas limitaciones mediante la utilización de pantallas hemisféricas que cubren la totalidad del campo visual del usuario con una superficie continua. Eso hace que la superficie sobre la que se proyecta el entorno virtual resulte invisible, incrementando así la sensación de presencia. Otro efecto interesante es que si el sistema visual deja de percibir la superficie sobre la que se realiza la proyección, entonces otras señales como el movimiento le hacen derivar información aparente sobre la profundidad, sin necesidad de recurrir a proyecciones estereoscópicas.

Intentar alcanzar elevados niveles de presencia durante la exposición a entornos virtuales no es trivial, puesto que se ha comprobado repetidamente que este es uno de los requisitos más importantes para la eficacia de los tratamientos basados en realidad virtual. Hay gran cantidad de investigación acumulada hasta el momento sobre las variables que influyen sobre la presencia. Entre ellas se encuentran factores perceptivos y motores que dependen de variables propias del sistema, como la inmersión y la interactividad. También influyen sobre la presencia variables propias del sujeto como las habilidades espaciales y la personalidad. Las variables del sistema han sido mucho más estudiadas que las del sujeto, y en todo caso es necesario realizar mayor investigación sobre las formas de interacción que tienen lugar entre ellas, para acabar de dar luz sobre sus condiciones de suficiencia y de necesidad en la determinación de los niveles de presencia. El resultado de estas interacciones hace emerger propiedades decisivas para la eficacia de los tratamientos, como la significación clínica de los estímulos virtuales.

En este dossier contamos con la participación de algunos de los grupos de investigación internacionales más importantes en este campo. Giuseppe Riva, Cristina Botella y Mel Slater se encuentran entre los diez autores con mayor cantidad de publicaciones sobre realidad virtual del mundo. La importancia de las aportaciones que han realizado hasta el momento, y de las que van a continuar apareciendo durante los próximos años, es considerable. Con su trabajo han promovido el avance de la investigación empírica, y los debates que han impulsado sobre conceptos claves como el de presencia son estímulos para la participación de otros grupos, cada vez más numerosos.

José Gutiérrez-Maldonado  
*Universidad de Barcelona*